

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Palivové články pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla

Fuel cells for combined power and heat generation

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7.5.2010

Jiří Židek

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D., který mi pomáhal s přípravou této závěrečné práce a konzultoval mé dotazy.

Seznam některých použitých symbolů a zkratk:

| | |
|------|-------------------------------------------------|
| ACHJ | absorpční chladicí jednotka |
| CS | centralizovaný systém |
| DS | decentralizovaný systém |
| ES | elektrizační soustava |
| KJ | kogenerační jednotka |
| KS | kogenerační systém |
| KV | kombinovaná výroba |
| KVET | kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie |
| ODV | oddělená výroba |
| TS | teplofikační soustava |
| TUV | teplá užitková voda |

Obsah:

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Úvod | 1 |
| 1. Základní pojmy z oblasti palivových článků a kogenerace | |
| 1.1 <u>Palivový článek</u> | 2 |
| 1.1.1 Základní pojmy | 2 |
| - Elektrochemický palivový článek | 2 |
| - Galvanický článek | 2 |
| - Polarizační charakteristika (Voltampérová charakteristika) | 2 |
| - Výkonová charakteristika | 3 |
| 1.1.2 Konstrukce palivového článku | 4 |
| - Membránové uskupení (MEA) | 4 |
| - Desky s kanálky pro rozvod reakčních plynů (FFP) | 4 |
| - Chladicí okruh | 4 |
| - Koncové desky s elektrodami | 5 |
| 1.1.3 Princip palivového článku | 5 |
| 1.1.4 Výhody palivových článků | 6 |
| 1.1.5 Nevýhody palivových článků | 7 |
| 1.2 <u>Kogenerace</u> | 8 |
| 1.2.1 Definice kogenerace | 8 |
| 1.2.2 Výhody kombinované výroby energií | 9 |
| 2. Rozdělení palivových článků dle použité technologie | |
| 2.1 <u>Typy palivových článků</u> | 10 |
| 2.1.1 Nízkoteplotní palivové články: | 10 |
| - Alkalické palivové články (AFC) | 10 |
| - Palivové články s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC) | 10 |
| - Palivové články s protonovou membránou (PEMFC) | 10 |
| - Palivové články s přímým zpracováním methanolu (DMFC) | 10 |
| 2.1.2 Vysokoteplotní palivové články: | 11 |
| - Palivové články s elektrolytem na bázi tekutých uhličitánů (MCFC) | 11 |
| - Palivové články s elektrolytem na bázi tuhých (pevných) oxidů (SOFC) | 11 |
| 3. Kogenerační jednotky na bázi palivových článků, srovnání s dalšími technologiemi | |
| 3.1 <u>Kogenerační jednotky na bázi palivových článků</u> | 12 |
| 3.2 <u>Další technologie kogeneračních jednotek</u> | 14 |
| 3.2.1 Kogenerace s parními turbínami a motory | 14 |
| - Parní turbíny v kogeneračních tepelných zdrojích | 15 |
| - Výhody a nevýhody parních turbín v kogeneraci | 16 |
| - Parní motory v kogeneračních tepelných zdrojích | 16 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2 Kogenerace se spalovacími turbínami | 17 |
| - Kogenerační způsoby zapojení spalovacích turbín | 17 |
| - Výhody a nevýhody spalovacích turbín v kogeneraci | 18 |
| 3.2.3 Kogenerace se spalovacími motory | 19 |
| - Kogenerační jednotky se spalovacími motory | 19 |
| 4. Stanovení vhodné technologie palivového článku pro účely dodávky elektřiny a tepla u daného objektu | |
| 4.1 <u>Výpočet součinitelů prostupu tepla</u> | 22 |
| 4.2 <u>Základní tepelné ztráty</u> | 23 |
| 4.3 <u>Tepelné ztráty místností prostupem tepla Q_p</u> | 24 |
| 4.4 <u>Tepelné ztráty větráním Q_v</u> | 24 |
| 4.5 <u>Celkové tepelné ztráty budovy Q_c</u> | 25 |
| 4.6 <u>Potřeby tepla na vytápění a ohřev užitkové vody</u> | 26 |
| 4.7 <u>Stanovení vhodné technologie palivového článku</u> | 27 |
| Závěr | 28 |
| Literatura | 29 |
| Přílohy | 31 |

Úvod:

Palivové články se začínají v dnešní době jevit jako přijatelná technologie pro získávání energie. Tento článek není oproti jiným zdrojům elektrické energie konstruován pro spalování fosilních paliv. U palivového článku jde tedy o technologii přímé přeměny chemické energie na energii elektrickou s vysokou účinností přeměny. Navíc, když porovnáme klasické spalovací zařízení spalující zemní plyn a palivový článek na zemní plyn, vzniká u palivového článku při spalování jen velmi malé množství emisí oproti klasickému zařízení. Proto je palivový článek také považován za ekologicky velmi přijatelnou alternativu.

Kdybychom měli hodnotit palivové články jen z hlediska produkce emisí, nesmíme opomenout, že existují i takové palivové články, jejichž palivem je vodík. Ty potom mají emise nulové, jelikož odpadní látkou je pouze voda.

Dále se musíme zmínit o typech palivových článků, produkujících při chemické reakci také kromě elektrické energie i energii tepelnou s vysokými hodnotami teplot. Tyto palivové články pak skýtají největší uplatnění v oboru kogenerace, kde jsou aplikovány v kogeneračních jednotkách a schopny zásobovat daný prostor nebo objekt, jak energií elektrickou, tak tepelnou.

Takovéto články je poté možno použít i pro vytápění určitých prostor nebo také pro ohřev teplé užitkové vody.

1. ZÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ A KOGENERACE

1.1 Palivový článek [11]

1.1.1 Základní pojmy

Elektrochemický palivový článek

Elektrochemické zařízení, které vytváří elektrickou energii. Palivový článek je galvanický článek, jehož základními částmi jsou dvě elektrody. K jedné z elektrod (anodě) je přiváděno palivo (Methanol, Ethanol, H_2) a k druhé (katodě) okysličovadlo (O_2 , vzduch).

Principem vzniku elektřiny v palivovém článku je tedy dodání paliva do anodového prostoru anodě a okysličovadla do prostoru katodového katodě. Tyto dva elektrodové prostory jsou neprodyšně odděleny a mezi nimi se nachází elektrolyt. Na katodě se oxidační činidlo (většinou kyslík) redukuje na anionty (O^{2-}), a ty poté reagují s H^+ ionty na vodu. Výhodou těchto článků je, že mohou pracovat nepřetržitě, za podmínky že se nepřeruší přísuv paliva nebo okysličovadla k elektrodám.

Galvanický článek

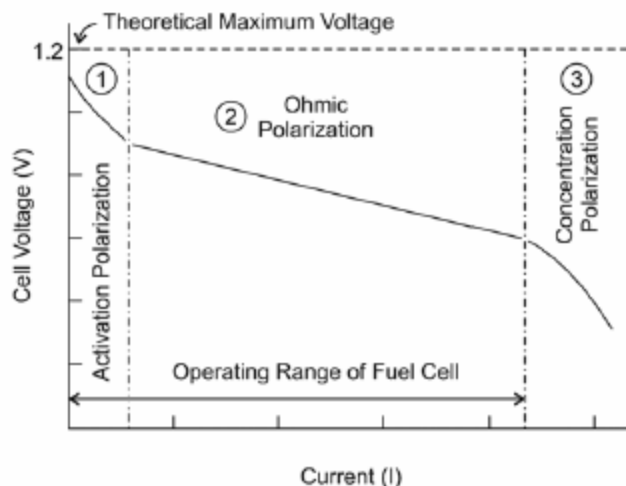
Základní jednotka elektrochemického zdroje elektrické energie. Galvanický článek je soustava skládající se z kladné a záporné elektrody a vhodného iontově měnivého elektrolytu. Elektrody tohoto článku musí být různého charakteru. Jedna z elektrod musí být oxidačním a druhá redukčním činidlem (reaktantem), přičemž to mohou být látky tuhé, kapalné i plynné.

Polarizační charakteristika (Voltampérová charakteristika)

Základní charakteristika elektrického zdroje udávající v každém jeho pracovním bodě závislost napětí na výstupních svorkách zdroje na jeho proudovém zatížení.

V ideálním případě by na elektrickém výstupu palivového článku bylo při jakémkoliv provozním proudu ideální teoreticky stanovené napětí, tedy 1,187 V. Skutečností je, že palivové články dosahují nejvyššího výstupního napětí při stavu naprázdno (bez zatížení). S tím jak roste proud procházející článkem, naopak klesá napětí článku. Tento jev se nazývá polarizace článku a je charakterizován polarizační křivkou, která je znázorněna na obr.1.

Polarizační křivka je křivka znázorňující závislost napětí článku na proudu článku. Hodnota proudu je závislá na hodnotě elektrické zátěže, která je připojena k tomuto článku. Polarizační křivka vlastně znázorňuje elektrochemickou účinnost palivového článku při jeho zatížení příslušným provozním proudem. Ale za předpokladu, budeme-li uvažovat, že účinnost je rovna podílu skutečného napětí článku k teoreticky stanovenému maximu napětí článku, tedy hodnotě 1,187 V.



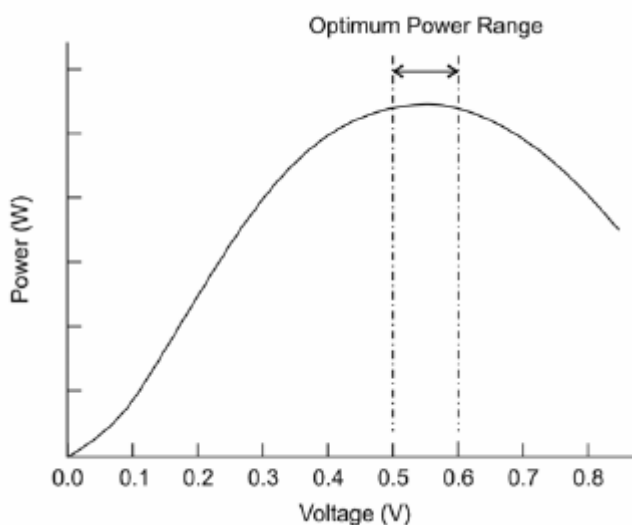
Obr.1 Typická polarizační křivka palivového článku typu PEM [11]

Výkonová charakteristika

Základní charakteristika elektrického zdroje, jež udává v každém jeho pracovním bodě závislost elektrického výkonu na jeho proudovém zatížení. (Pozn.: V následujícím článku je však uvedena závislost elektrického výkonu palivového článku na jeho pracovním napětí.)

Elektrický výkon je veličina závislá na existenci napětí a proudu v jednom obvodu ($P = U \cdot I$). Výkonová charakteristika PEM článku je znázorněná na obr.2.

Maximálního výkonu je dosahováno při hodnotě napětí mezi 0,5 a 0,6 V, které ovšem odpovídají vysokému proudu. Největší hodnoty výkonové křivky bude dosaženo v okamžiku, jestliže bude vnitřní rezistance článku rovna rezistanci vnějšího obvodu. U palivového článku klesá účinnost se zvyšujícím se napětím, a proto musíme zavádět kompromis mezi vysokým výkonem a vysokou účinností tohoto článku. Firmy, které vyrábějí palivové články proto musí vybrat vhodnou provozní oblast článku. Provozní oblast článku bude záviset na tom, jestliže bude článek používán v aplikaci, kde bude vyžadována jeho vysoká účinnost nebo naopak v aplikaci, kde bude potřeba větší výkon. Palivové články není vhodné provozovat mimo jejich optimální oblast, protože poté dochází k velkému poklesu výkonu tohoto článku.



Obr. 2 Typická výkonová křivka palivového článku typu PEM. [11]

1.1.2. Konstrukce palivového článku

Palivový článek je zařízení skládající se z membránového uskupení (MEA - Membrane Electrode Assembly), z desek s kanálky, které slouží pro rozvod reakčních plynů (FFP - Flow Field Plate, někdy se také označují jako BP - Bipolar Plates), dále z chladicího okruhu (CC - Cooling Circuit) s chladicím médiem, těsnění (Sealing) a nakonec ještě z koncových desek obsahujících elektrody (EP - End Plate).

Membránové uskupení (MEA)

MEA se skládá z několika částí, jimiž jsou: protonová membrána, katalyzátory, elektrody (anoda a katoda). Toto vše tvoří vnější část článku. Membránové uskupení je jednou z nejdůležitějších částí palivového článku, protože vněm dochází k nejdůležitějším chemickým reakcím. Protonová membrána (PEM - Proton Exchange Membrane), nebo také elektrolyt, se skládá z pevného filmu o šířce 50 – 200 μm . Tento film je tvořen tetrafluoruhlenovými fluoro-uhlíkovými polymery s řetězcem, který končí skupinou siřičitanových kyselin ($-\text{SO}_3^-$). Proto má kyselý charakter.

Protonová membrána je z obou stran pokryta tenkou vrstvou katalyzátoru o šířce desítek μm . Katalyzátor slouží k podpoře chemické reakce aniž by se touto reakcí spotřebovával. Kvůli tomuto se nejčastěji používá jako katalyzátor platina a nikl, protože tyto prvky vykazují vysokou elektro-katalytickou činnost, chemickou stabilitu a elektrickou vodivost. Elektrody (GDL - Gas Diffusion Layer), anoda a katoda jsou tvořeny papírem s uhlíkovými vlákny. Tento papír je porézní, hydrofobní (nesmáčenlivý), dobře vodivý a nekorodující. Tloušťka papíru jsou desítky μm . Poréznost je vlastnost papíru, která umožňuje elektrodám propouštět reakční plyny na straně anody (metan, vodík,..) a plyny okysličovací na straně katody (kyslík, vzduch). Anoda a katoda současně slouží k vyvážení rovnoměrnosti plošné hustoty toku vodíkových molekul při zásobování protonové membrány palivem.

Desky s kanálky pro rozvod reakčních plynů (FFP)

Desky jsou vyráběny z uhlíkového materiálu (grafitu). Materiál desek by měl splňovat určité podmínky. K těmto podmínkám patří vysoká vodivost, nízká kontaminace a nízké náklady. Jako nejlépe použitelný se proto jeví materiál grafit. Desky jsou vyráběny s kanálky serpentinovitého tvaru. Tyto kanálky zvětšují kontakt plynu s membránovým uspořádáním. Na anodové a katodové straně se obvykle kanálky výrazně liší. Odlišnost kanálků vyplývá z jejich ekonomické dostupnosti, z fyzikálních vlastností reakčních plynů a ze zamýšleného účelu, na který by měl být článek použit. Anodová strana se obvykle vyrábí s hustší sítí kanálků pro účel většího využití vodíku vzhledem k jeho ceně a energetické dostupnosti. Katodová strana má desku na opačné straně od membrány vybavenou kanálky pro rozvod chladicího média. Spoj anodové a katodové desky dvou sousedních článků musí být vybaven elektricky vodivým těsněním, aby nedocházelo ke smíšení chladicího média s reakčními plyny.

Chladicí okruh

Chladicí médium se liší podle toho, jestliže se bude jednat o palivový článek malých nebo velkých výkonů. Pro články vyráběné s malými výkony, do jednotek kilowattů, se k chlazení používá okolní vzduch. U článků vyráběných s výkony jednotek kilowattů a výše se jako chladicí médium nejčastěji používá demineralizovaná voda, vzhledem k jejímu vysokému měrnému tepelnému skupenství.

Koncové desky s elektrodami

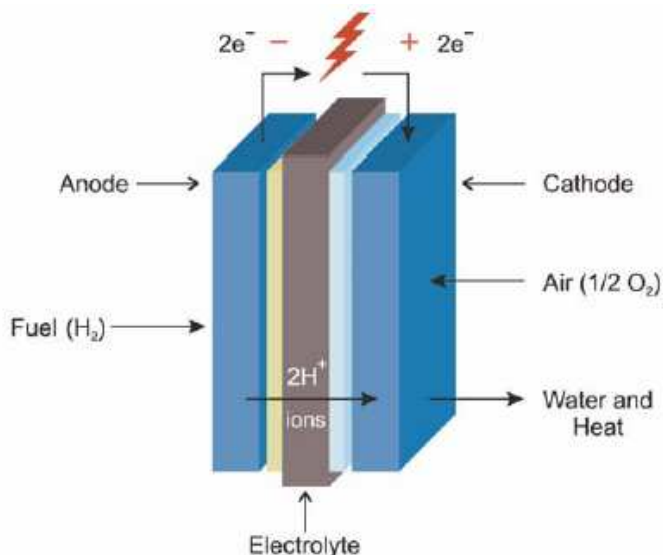
Vodivé desky vyrobené na bázi oceli, které v sobě mají zabudovány koncové elektrody s výstupními svorkami článků. Jejich význam spočívá v možnosti uchycení koncových šroubů, které slouží k jejich stažení a tím získání lepších energetických parametrů článku vzhledem k větším stykovým plochám jednotlivých součástí článku a dále ve vyvedení elektrického výkonu a chlazení elektrod,

1.1.3. Princip funkce palivového článku:

Mimo výše popsaných částí palivového článku je nutné článek mimo jiné vybavit také zdrojem palivového plynu (vodíkové hospodářství), zdrojem plynu okysličovacího (vzduchové hospodářství), zdrojem chladicího média (chladicí okruh), zvlhčovači a zařízením pro regulaci toků kapalin a plynů.

Dále zařízením na promazávání jednotlivých přídavných zařízení a dalšími doplňkovými provozními zařízeními například pro řízení elektrického a tepelného výstupu, zařízením na řízení výrobního procesu a jeho kontrolu.

Některé systémy obsahují například ještě zařízení pro zpracování paliva, tzv. reforméry.



Obr. 3. Obecný vzhled a funkce vodíkového palivového článku [11]

Palivovému článku je dodáváno ze zdroje palivové médium, kterým je palivový plyn. Tímto plynem je vodík ve formě molekul H_2 na straně anody. Současně je na straně katody dodáváno okysličovadlo, kterým je kyslík ve formě molekul O_2 nebo vzduch. Stykem molekul vodíku H_2 s platinovým katalyzátorem dojde k protonové reakci na povrchu membrány. V této reakci dojde k rozkladu molekul vodíku na jednotlivé atomy H. Atomy H se poté štěpí na protony H^+ a elektrony e^- . Elektrony e^- dále procházejí vnější elektrickou zátěží. Po průchodu touto zátěží jsou elektrony přijímány atomy kyslíku na katodové straně při vzniku iontu O^{2-} . Ionty O^{2-} vznikly štěpením molekul kyslíku O_2 katalyzátorem. Membrána palivového článku je schopná propouštět jen kladně nabité vodíkové protony, které jsou přitahovány na katodové straně kyslíkovými ionty. Vodíkový proton projde membránou a na katodové straně dojde k reakci, do které vstupují vodíkové protony H^+ a anion kyslíku O^{2-} .

1.1.4 Výhody palivových článků

Palivové články jsou nejčastěji porovnávány s bateriemi a motory s vnitřním spalováním. Palivové články ovšem nabízí oproti těmto zdrojům určité výhody, které bychom měli respektovat při výběru vhodného zdroje energie.

Palivové články typu PEM (zpracovávající pouze čistý vodík)

Články, které pracují bez znečišťujících látek. Při reakci vznikají další produkty jimiž jsou teplo a voda. Palivové články požívají plynou reformační směs bohatou na vodík, z této směsi poté vznikají škodlivé zplodiny. Množství těchto zplodin je ale výrazně menší než množství, které vzniká v motorech s vnitřním spalováním spalujících konvenční fosilní paliva.

Palivové články pracují s vyšší termodynamickou účinností než tepelné motory

Tepelné motory, tzn. motory a turbíny s vnitřním spalováním, které prostřednictvím spalování přeměňují chemickou energii na energii tepelnou, využívají toho, že teplo koná užitečnou práci. Optimální (Carnotova) termodynamická účinnost tepelného motoru η_{MAX} je známa jako:

$$\eta_{MAX} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

kde T_1 - absolutní teplota vstupního (horkého) plynu (v °R či v K),

T_2 - absolutní teplota výstupního (chladného) plynu (v °R či K).

Tento vztah dokazuje, že když se zvýší teplota vstupního horkého plynu a sníží teplota výstupního chladného plynu po expanzi, dojde ke zvýšení termodynamické účinnosti.

Srovnání účinnosti jednotlivých metod výroby elektrické energie na obr. 4 v příloze BP

Palivové články mají vyšší účinnost oproti tepelným motorům při jejich částečném zatížení. Změny v účinnosti jsou v celém provozním rozsahu menší. Palivové články jsou navíc vyráběny takové modulové konstrukce, která má stálou účinnost jednotlivých dílů bez ohledu na velikost článku.

Palivové články se vyznačují dobrými dynamickými charakteristikami. V případě, že bychom chtěli palivový článek použít jako generátor elektrické energie, vyžaduje článek menší energetické přeměny než tepelný motor. Jestliže by byl článek použit jako zdroj mechanické energie, poté je vyžadováno stejné množství přeměn, ačkoliv se jednotlivé transformace liší od těch probíhajících v případě tepelných motorů.

Palivové články se dají použít pro pohybující se aplikace pracující při nízkých provozních teplotách (to jsou teploty nižší než 100 °C). Výhodou je, že vysoké teploty jsou vykoupeny větší bezpečností a krátkým časem zahřívání.

Palivové články se používají v kogeneračních aplikacích. Při chemické reakci články neprodukují jen elektrickou energii, ale také teplo a horkou vodu. Oba produkty se poté dají použít v domácích a průmyslových aplikacích. Jestliže je tak učiněno, narůstá celková účinnost kombinovaného systému.

Palivové články nevyžadují ladění (seřizování).

Palivové články nepožadují dobíjení, ale dodávka paliva musí být obnovena. Toto je rychlejší než dobíjení baterií.

Palivové články se vyznačují také nízkou úrovní hluku. Tato výhoda je ale zastíněna přídatnými zařízeními článku, jimiž jsou ventilátor nebo kompresor v okruhu okysličovadla.

1.1.5 Nevýhody palivových článků

Palivové médium článku jímž je vodík, je velmi ekologicky prospěšné, ale velmi obtížně se vyrábí a uskládá. Systémy, které slouží k uskládání plynného vodíku jsou příliš velké a těžce přizpůsobitelné energeticky nízké objemové hustotě plynného vodíku. Systémy sloužící k uskládání tekutého vodíku jsou mnohem menší a lehčí, ale musí být provozovány při kryogenních teplotách. Uskladnění vodíku je také možné pomocí uhlovodíků a alkoholů.

Palivové články vyžadují relativně čisté palivo, bez specifických znečišťujících látek. Mezi tyto znečišťující látky patří například síra, uhlíkové sloučeniny, či zbytková tekutá paliva (v závislosti na typu palivového článku). Tyto látky by mohly poškodit katalyzátor palivového článku a tím by se článek samotný stal nefunkčním.

Palivové články se čím dál častěji aplikují v automobilovém průmyslu. Tam jsou typické svým požadavkem na platinový katalyzátor, který slouží k podpoře reakce při níž se vyrábí elektrická energie. Nevýhodou je, že platina je velmi drahý a vzácný kov.

Palivové články při výrobě elektrické energie produkují čistou vodu. Většina palivových článků použitých v automobilových aplikacích používá jako reaktanty vlhké plyny. Proto i velmi malé množství zbytkové vody může způsobit zničující expanzi uvnitř palivového článku v případě jeho vystavení teplotám pod bodem mrazu. Článek při svém provozu vyrábí dostatečné množství tepla, které zabraňuje zamrznutí při vystavení okolním teplotám mrazu.

Jestliže jsou palivové články za studeného počasí vypnuty, musí být i nadále neustále vyhřívány a nebo z nich musí být kompletně odstraněna zbytková voda před tím, než by byl článek zmrazen. To má za následek převoz dopravního prostředku do zahřívacího zařízení anebo nainstalování ohřívacího zařízení.

Palivové články s protonovými membránami (PEMFC) nesmí vyschnout a musí zůstat vlhké i při uskladnění. Kdybychom se pokusili nastartovat tento článek s vyschlou membránou, mohlo by dojít ke zničení membrány.

Palivové články vyžadují složité systémy výživy a složité řídicí systémy.

Palivový článek je sám o sobě pevné statické zařízení, ale systémy, které jsou vyžadovány pro jejich správnou funkci často statické nejsou. Samy o sobě nejsou palivové články těžké. Na hmotnosti nabývají až spolu s podpůrnými systémy a uskladnění paliva je v dnešní době také větší než u motorů s vnitřním spalováním. Na hmotnosti ještě více nabývají systémy s palubními reformery.

Palivový článek je nová vyvíjející se technologie. A proto hlavním cílem inženýrů zůstává snížení nákladů, váhy, rozměrů, nárůst dostupnosti a životnosti.

1.2 Kogenerace [1]

1.2.1 Definice kogenerace

Kombinovaná výroba energií je společná (integrovaná) postupná nebo současná produkce konečných forem energií přeměněných z primární formy v transformačních řetězcích a připravených k využití u spotřebitele (obr.5 v příloze BP). Elektrická energie a tepelné energie jsou nejčastějšími formami koncových energií využívaných ve spotřebě. Takováto výroba se nazývá kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET, KV) nebo kogenerace.

Systém, jež zajišťuje výrobu a dopravu elektrické a tepelné energie v požadovaných parametrech spotřeby se nazývá kogenerační systém (KS). Na straně spotřebitele se kogenerační systém realizuje jen odběrem konečných energetických forem z ES a TS a dále jejich dopravou ke spotřebě nebo také výrobou jen jediné formy energie (vesměs tepelné).

V případě, že se část tepelné energie používá k odebrání tepla jinému médiu, jedná se o tzv. trigenerační systém – trigeneraci. Pojem trigenerace je používán tehdy, když k elektrické a tepelné energii přidáme ještě výrobu a dodávku chladu, tedy celkem tři druhy výroby energií. S ohledem na termodynamické zákony bohužel není možné toto označení použít. Pomocí transformace nemůžeme získat chlad, je možné pouze uskutečňovat odvod tepla z jiné látky za pomoci levotočivých tepelných oběhů. U trigenerace jsou tyto tepelné oběhy realizovány v absorpčních chladících jednotkách (ACHJ). Přesto je tento popis vhodný pouze z obchodního a bilančního hlediska, kdy můžeme výrobu rozdělit na 3 druhy komodit.

Formy energie dodávané kogeneračnímu systému lze využít podle požadavku spotřeby pro dva základní účely:

- technologické procesy,
- úpravu životních podmínek.

Ty se dají realizovat pro potřeby výrobní (podnikatelské) činnosti nebo také pro osobní spotřebu.

Vlastnosti elektrické a tepelné energie udávají možnosti využití konečných energetických forem spotřebitelem. Elektrická energie je velice jakostní forma energie, kterou můžeme lehce přeměňovat v jiný druh. Využití tepelné energie značně závisí na jejích parametrech (teplota). Další přeměna této tepelné energie je omezena druhým termodynamickým zákonem.

Společná transformace primárních energií na energii elektrickou a tepelnou probíhá v energetických výrobních (jednotkách), nazývajících se různými způsoby, nejčastěji to jsou teplárenské nebo kogenerační jednotky (KJ). Výroba může být uskutečňována v jednom nebo ve dvou transformačních řetězcích. V případě že je použito dvou řetězců skládá se celková dodávaná elektrická energie ze dvou částí (obr. 6 v příloze BP). Tento druh produkce nazýváme výroba v kombinovaných cyklech (obězích) a kogenerační jednotka je kogenerační jednotkou kombinovanou.

Typickým příkladem je kombinovaná výroba elektrické energie pomocí plynového a parního oběhu s dodávkou tepla. Výroba elektrické energie 1 je uskutečňována v turbínách plynových a spaliny z těchto turbín jsou použity k výrobě páry pro turbíny parní, kterými je uskutečňována výroba elektrické energie 2. Dodávka tepla bývá prováděna na výstupu z plynové turbíny nebo dodávkou páry z parního oběhu.

Pro vlastní mechanickou práci nebo výrobu se spalováním uhlovodíkových paliv nebo využitím jiných primárních zdrojů tepla v energetice a v dopravě při užití v turbíně nebo motoru spotřebuje

přibližně 30÷35% energie, která je obsažena v palivu. Vzniká velké množství nízkopotenciálního tepla a ztrátového tepla. Nízkopotenciální teplo u běžných motorů z velké části odchází v podobě horkých výfukových plynů. Naopak ztrátové teplo je nutné odvádět chladicí soustavou, aby byla zachována funkčnost motoru. Toto teplo představuje tepelné ztráty procesu výroby a přeměny energie.

Kvůli fyzikálním omezením není možné toto teplo použít k výrobě elektrické energie a mechanické práce. V automobilech toto teplo bez užitku uniká do okolí a u větších tepelných elektráren se vypouští chladicími věžemi.

U kogenerační výroby je odpadní teplo výhodně využito například k ohřevu vody, k vytápění objektů a dalším podobným účelům. Takto se současně využívá energie (k výrobě elektřiny) a také ztrátové teplo (k vytápění a dalším účelům). Můžeme tak dosáhnout 80% tepelné účinnosti vztahované k energetickému obsahu výhřevnosti paliva.

Kogenerační výroba je jednou z možností jak snižovat vypouštění škodlivých emisí skleníkových plynů s využitím primárních paliv.

1.2.2 Výhody kombinované výroby energií

Kogenerační výroba elektrické a tepelné energie vzhledem k využití jednoho primárního zdroje vstupujícího do transformačního řetězce může výrazně přispívat ke zvyšování účinnosti využívání primárních zdrojů oproti samostatné výrobě elektrické a tepelné energie, a to jak v CS, tak i v DS. Tato skutečnost je patrná na obr. 7 v příloze BP. Na obrázku je znázorněno porovnání účinnosti samostatné (oddělené) výroby (ODV) energií s KVET. Účinnost oddělené výroby elektrické energie je uvažována 35% a tepelné 85%. Když zvýšíme účinnost transformace primárních energetických zdrojů, povede to k omezení nepříznivých důsledků využívání těchto zdrojů. Při vhodném návrhu konfigurace provozu KS, budou i náklady na provoz KS menší než u oddělených systémů. Jestliže správně nakonfigurujeme a optimalizujeme provoz KS, můžeme uvažovat rozsáhle uplatnění KVET pro různé aplikace.

Charakteristika výhod KVET:

- společná produkce tepelné a elektrické energie v KS vede ke zvýšení účinnosti využití primárního paliva,
- umístění místa výroby do blízkosti místa energetického využití vede ke snížení ztrát vzniklých přenosem a distribucí elektrické energie z ES,
- snadná napojitelnost na existující a plánované technologie v různých aplikacích jak průmyslovém tak i v komerčním a bytovém sektoru,
- omezení krytí požadované spotřeby z neobnovitelných energetických zdrojů a dále navýšení podílů zdrojů obnovitelných,
- omezení znečišťování životního prostředí,
- zvyšují konkurenci mezi jednotlivými systémy energetického zásobování

Vědeckotechnický vývoj v oblasti zvyšování účinností přeměn energií spolu se zaváděním volného trhu v oblasti výroby a dodávky energií, omezování znečištění životního prostředí a politické faktory přispívají k možnostem nárůstu uplatnění kogenerační výroby.

2. ROZDĚLENÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ DLE POUŽITÉ TECHNOLOGIE

2.1 Typy palivových článků [6, 12]

Palivové články můžeme rozdělit do dvou skupin podle provozní teploty na nízkoteplotní a vysokoteplotní. Dalším kritériem rozdělení je zvolený druh elektrolytu.

2.1.1 Nízkoteplotní palivové články:

Alkalické palivové články (AFC)

Palivové články, u kterých je použit alkalický elektrolyt (AFC). Přesně řečeno se jako elektrolyt používá vodný roztok alkalického hydroxidu (NaOH, KOH), jenž je zafixovaný v azbestové matici. Palivem tohoto článku je čistý vodík. Jako okysličovadlo je použit čistý kyslík nebo také vzduch, který je zbaven oxidu uhličitého, protože by jinak reagoval spolu s elektrolytem na uhličitán draselný. V těchto palivových článkách je možno použít velké množství typů katalyzátorů, nejsme proto odkázáni jen na katalyzátory na bázi platiny. Účinnost přeměny čistého vodíku na elektrickou energii dosahuje až 60%. Tyto palivové články skýtají své uplatnění nejlépe ve vesmírných a vojenských aplikacích. Provozní teplota těchto článků jsou mezi 65 - 220°C.

Palivové články s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné (PAFC)

Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC). V dnešní době jsou již tyto články komerčně dostupné. Použitý elektrolyt je 100% kyselina fosforečná fixována v matici. Provozní teplota těchto článků se pohybuje mezi 150 - 210°C. Materiálem použitým na katalyzátor je platina. V současnosti došlo k výraznému poklesu použití platiny u katalyzátorů. Palivovým médiem u PAFC článků je vodík, který je připraven parním reformingem fosilních paliv a použité okysličovadlo je vzduch. Největší využití těchto palivových článků je v kogeneračních aplikacích.

Palivové články s protonovou membránou (PEMFC)

Palivové články s polymerní membránou (PEMFC). Funkce elektrolytu je zde představována polymerní membránou vodivou pro ionty vodíku (protony), někdy taky nazývanou termínem „proton exchange membrane“. Tato membrána musí být zvlhčována. Ve většině případů se jedná o sulfonované fluoropolymery, nejčastěji o Nafion. Použitým katalyzátorem je nejčastěji platina nebo slitiny platinových kovů, které jsou nanesené na povrchu GDL (plynově difúzní vrstva) a tak GDE (plynově difúzní elektroda) vytváří plynově difúzní vrstvu se zafixovaným katalyzátorem. Jako palivo je používán vodík nebo metanol a jako okysličovadlo slouží kyslík nebo vzduch. Provozní teplota u těchto článků se pohybuje mezi 50 - 100°C, což umožňuje okamžité flexibilní použití. Jednou z nevýhod u katalyzátoru je jeho citlivost na katalytické jedy a to především na oxid uhelnatý. Tyto články se používají v mobilních zařízeních.

Palivové články s přímým zpracováním methanolu (DMFC)

Tyto články jsou speciálním typem PEMFC článků. Liší se tím, že je zde místo vodíku použit jako palivo metanol. Technologie tohoto článků je stále ve vývoji, ale budoucnost má zaručenou. Vyznačují se nízkou teplotou a láhve s vodíkem jsou nahrazeny bezpečnějším a ekonomicky přijatelnějším metanolem. To z těchto článků dělá velice přínosný zdroj do oblasti počítačů a dalších každodenně používaných zařízení. Velkou výhodou metanolu je, při normálním tlaku kapalný. Velice rozdílná je

u vodíku a metanolu kondenzační teplota. U metanolu je to 64,5°C, u vodíku -252 °C. Zjednodušuje to manipulaci, dopravu a doplňování paliva do nádrží. Dalším rozdílem je výhřevnost těchto dvou paliv. Metanol má výhřevnost 15900 kJ/l a vodík jen 11 kJ/l. Další výhodou je snadnější výroba metanolu než vodíku. Nevýhodou je produkce škodlivého plynu CO. Materiály použité na katalyzátor jsou platina a ruthenium. Tyto články do budoucna skytají největší využití v miniaturních a mobilních aplikacích. Provozní teplota těchto palivových článků je okolo 130°C.

2.1.2 Vysokoteplotní palivové články:

Palivové články s elektrolytem na bázi tekutých uhličitánů (MCFC)

Palivové články používající jako elektrolyt tavené uhličitany. V dnešní době jsou už komerčně dostupné. Elektrolytem je zde tavenina směsi alkalických uhličitánů fixována v matrici, protože tyto palivové články pracují při provozních teplotách kolem 650°C. U tohoto typu palivového článku se nemusí používat drahé katalyzátory, protože v něm dochází k vnitřnímu reformingu a ten zvyšuje účinnost článku, proto není požadavek na příliš čisté palivo. Palivem článku je plyn vzniklý z parního reformingu fosilních paliv a bioplynu. Okysličovadlem je vzduch. MCFC palivové články se nejčastěji používají v kogeneračních aplikacích a elektrárnách.

Palivové články s elektrolytem na bázi tuhých (pevných) oxidů (SOFC)

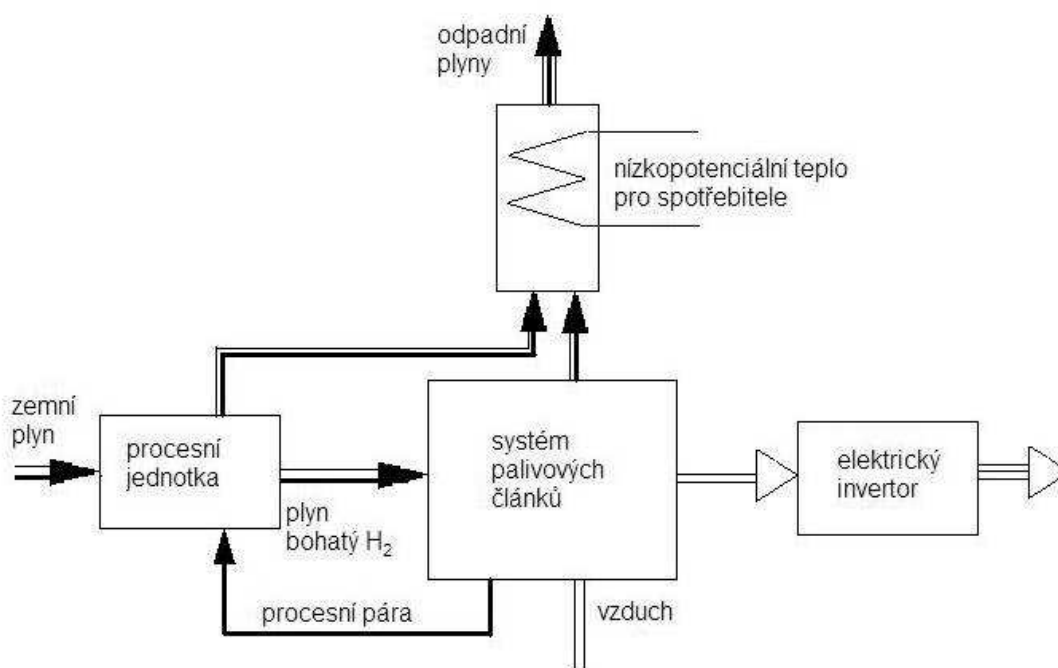
Články s elektrolytem na bázi tuhých oxidů. Nevýhodou použití tohoto elektrolytu je, že způsobuje konstrukční problémy, ale naopak nemusí být použito drahých katalyzátorů. Tyto palivové články mají provozní teplotu mezi 800 - 1000°C. K dalšímu zvýšení účinnosti se používají reakční produkty v expanzní turbíně. Palivem je stejně jako u MCFC článku plyn z parního reformingu fosilních paliv a bioplynu, okysličovadlem je vzduch. Tyto články se používají v kogeneračních aplikacích a elektrárnách.

Další parametry nízkoteplotních i vysokoteplotních palivových článků v *tab. 1* v příloze BP

3. KOGENERAČNÍ JEDNOTKY NA BÁZI PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ. SROVNÁNÍ S DALŠÍMI TECHNOLOGIEMI

3.1 Kogenerační jednotky na bázi palivových článků [2]

Palivovým médiem u palivových článků by mohl být v nejlepším případě přímo vodík. V dnešní době je možno pouze počítat se zemním plynem, který tvoří převážně metan. Než zemní plyn použijeme v palivovém článku, musíme jej rozložit na vodík a oxidy uhlíku (CO_2 a CO). Tento rozklad probíhá v konvertoru, kde reaguje metan s vodní párou (parní reforming). Kromě palivového článku a konvertoru je jednotka doplněna ještě elektrickým invertorem, který zajišťuje přeměnu stejnosměrného proudu na proud střídavý.



Obr. 8 Schéma zařízení pro kogenerační využití palivových článků [2]

Výzkum palivových článků již delší dobu probíhá ve velkém rozsahu. V dnešní době už velmi intenzivně v oboru stacionární teplárenské energetiky. Kogenerační jednotky s palivovými články již přešly do stádia, kde je lze komerčně využívat.

Kyslíko-vodíkové palivové články můžeme rozdělit do pěti skupin podle druhu použitého elektrolytu a provozní teploty. Z těchto skupin je možno tři z nich používat v kogeneračních aplikacích. Nejrozšířenějšími komerčně využívanými palivovými články jsou články typu PAFC s elektrolytem na bázi kyseliny fosforečné. Tyto články mají provozní teplotu pohybující se mezi 150 - 210 °C. Dosažitelná účinnost vlastního článku se pohybuje kolem 55%, čistá účinnost jednotky poté kolem 45%.

Palivové články typu MCFC s taveninou, která je tvořena tavenými uhličitany, mají provozní teplotu pohybující se kolem 600 °C. Díky intenzivním vývojovým pracím je v blízké budoucnosti očekáváno i komerční využití těchto článků. Ale vzhledem k tomu, že náklady na pomocná zařízení jsou příliš vysoké, mohou být využívány pouze pro větší výkony. Účinnost těchto zařízení se může pohybovat kolem 60%.

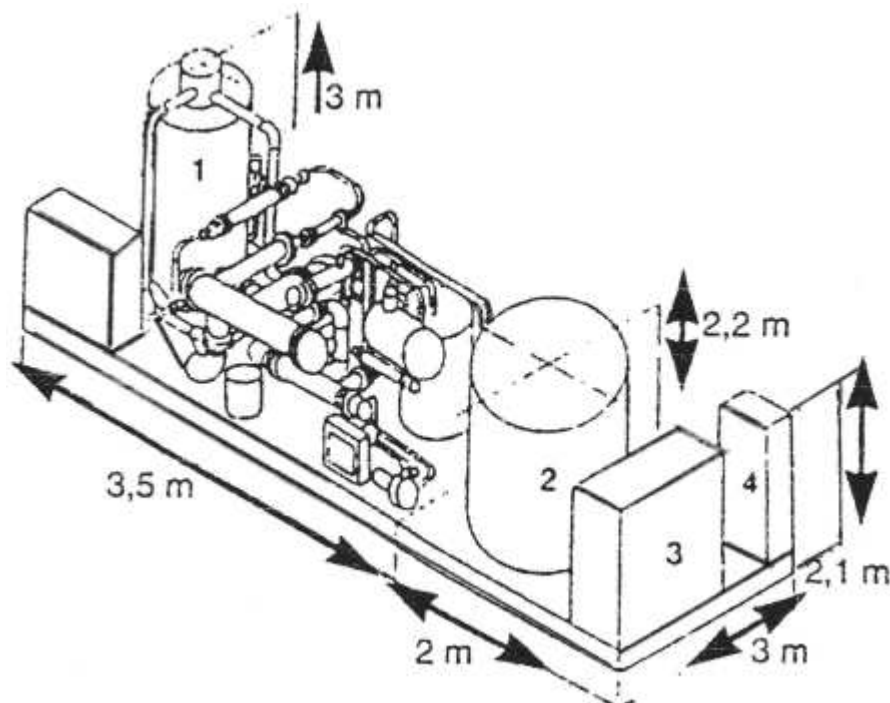
Při nejvyšších provozních teplotách pracují SOFC články s pevnými elektrolyty. Jako elektrolyt je zde použit keramický materiál jehož základní složkou je ZrO_2 . Provozní teploty těchto článků se pohybují v rozmezí 800-1000 °C. Palivem těchto článků může být jak vodík, tak také i plyn vzniklý zplyněním uhlí. Toto je velmi zajímavá varianta pro ČR, která má velké zásoby uhlí.

V důsledku vysokých teplot mohou být i nezpracované uhlovodíky (metan) použity jako palivo.

Úsilím amerických, japonských a nizozemských organizací je zaměřeno se na dosažení většího výkonu, lepší stability procesu a hlavně snížení nákladů.

Palivové články PAFC byly vyvinuty a vyrábí se jen v USA a Japonsku. Články, které vyvinula americká firma IFC (International Fuel Cell) jsou aplikovány v malých kogeneračních jednotkách firmou ONSI. Tato firma své kogenerační jednotky dopravovala až ke komerčnímu využití. Jednotka disponuje elektrickým výkonem 200 kW, tepelným výkonem 225kW a tato firma je dodává do celého světa pod typovým označením PC25 (obr. 9). Elektrická účinnost těchto jednotek je 42% a celková kolem 82%. Jak je viditelné na obr.9, jednotka se skládá ze čtyř hlavních částí. Těmito částmi jsou procesní jednotka, palivové články v tlakové nádobě, zařízení na využití odpadního tepla a měnič proudu. Procesní jednotka zahrnuje odsiřovací stupeň, parní reforming a CO konvertor.

Odsiřovací stupeň slouží k vyčištění zemního plynu od sirných sloučenin, které by způsobily znečištění katalyzátorů. V parním reformingu, který je plněn niklovým katalyzátorem, jsou uhlovodíky při teplotě kolem 850 °C rozloženy za pomoci vodní páry na H_2 , CO a CO_2 . Potřebná energie se získává spalováním plynu odcházejícího z anody, jenž ještě obsahuje dostatečné množství vodíku. Bohatý plyn získaný v parním reformingu je veden do třetího stupně procesního zařízení, tzv. konverteru CO. Zbytkový CO je v konverteru pomocí vodní páry přeměňován na CO_2 a vodík. Procesní pára se získává pomocí oběhu chlazení palivových článků. Přebytečné teplo článků, spolu s teplem z odpadního plynu reformingu a ze vzduchu odcházejícího z katody mohou být použity pro spotřebitele.



Obr. 9 Rozměrový náčrt balené kogenerační jednotky PC 25C [2]

1 parní reforming; 2 tlaková nádoba palivových článků; 3 měnič proudu; 4 kontrolní a řídicí panel

Výše popsaná kogenerační jednotka PC 25 je umístěna v kontejneru o rozměrech 5,4 x 3 x 3 m.

Tuto jednotku je možné instalovat v různých objektech, například v jejich sklepech nebo i střešních kotelnách. Jednotka vyžaduje jen jednoduchý základ, tím je přívod zemního plynu, elektrické energie, zapojení k tepelné soustavě, stejně jak je tomu u kogeneračních jednotek se spalovacími motory. Výhodou této jednotky je její minimální hlučnost, minimální náklady na údržbu a její šetrnost k životnímu prostředí. Jednotka je vhodná pro trvalý provoz. Další výhodou kogeneračních jednotek s palivovými články je, že nahrazují nouzové elektrické agregáty. Porovnání parametrů jednotky značky ONSI s kogenerační jednotkou se spalovacím motorem je patrné v níže uvedené tabulce.

| | | KJ s palivovými články | KJ se spalovacím motorem |
|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|
| Spotřeba zemního plynu | mn ³ /h | 51 | 51 |
| Elektrický výkon | kW | 200 | 170 |
| Tepelný výkon | kW | 225 | 252 |
| Elektrická účinnost | % | 42 | 34 |
| Celková účinnost | % | 85 | 85 |
| Emise oxidů dusíku | mg/m ³ | <10 | 500 |
| Emise CO | mg/m ³ | <20 | 650 |
| Nespálené uhlovodíky | mg/m ³ | <30 | 150 |

Tab.2 Srovnání parametrů kogeneračních jednotek s palivovými články (PC 25C) a se spalovacími motory [2]

Firma Fuji Electric již v současnosti v Japonsku vyvíjí standardní řadu kogeneračních jednotek s elektrickými výkony 50, 100, 200 a 500 kW. Malé jednotky pracující obvykle při atmosférickém tlaku. Jednotka ONSI o výkonu 200 kW a jednotka Fuji o výkonu 500 kW jsou navrženy jak pro nízkoteplotní tepelný vstup, tak i pro průmyslovou dodávku tepla ve formě páry. Kogenerační jednotka s články typu PAFC je v dnešní době na světě nainstalována ve stovkách zařízení s kapacitou téměř 100 MW. Tyto zařízení s uvedenými palivovými články jsou velmi perspektivní. Kvůli svým velkým účinnostem a ekologickým přednostem skýtají tyto jednotky v budoucnu široký rozvoj.

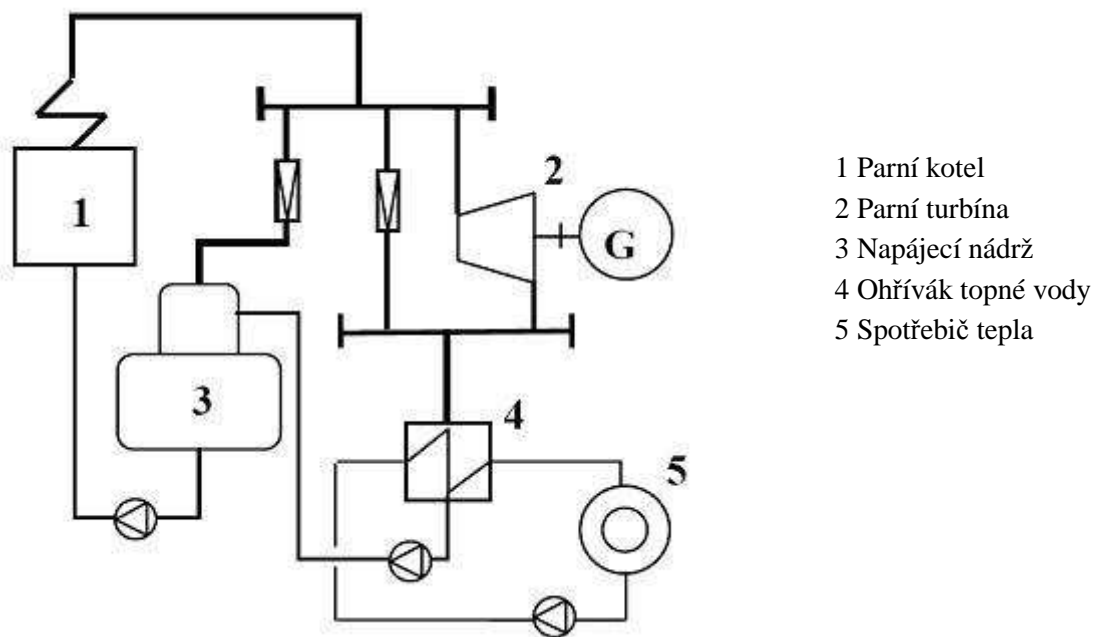
3.2 Další technologie kogeneračních jednotek

3.2.1 Kogenerace s parními turbínami a motory [3]

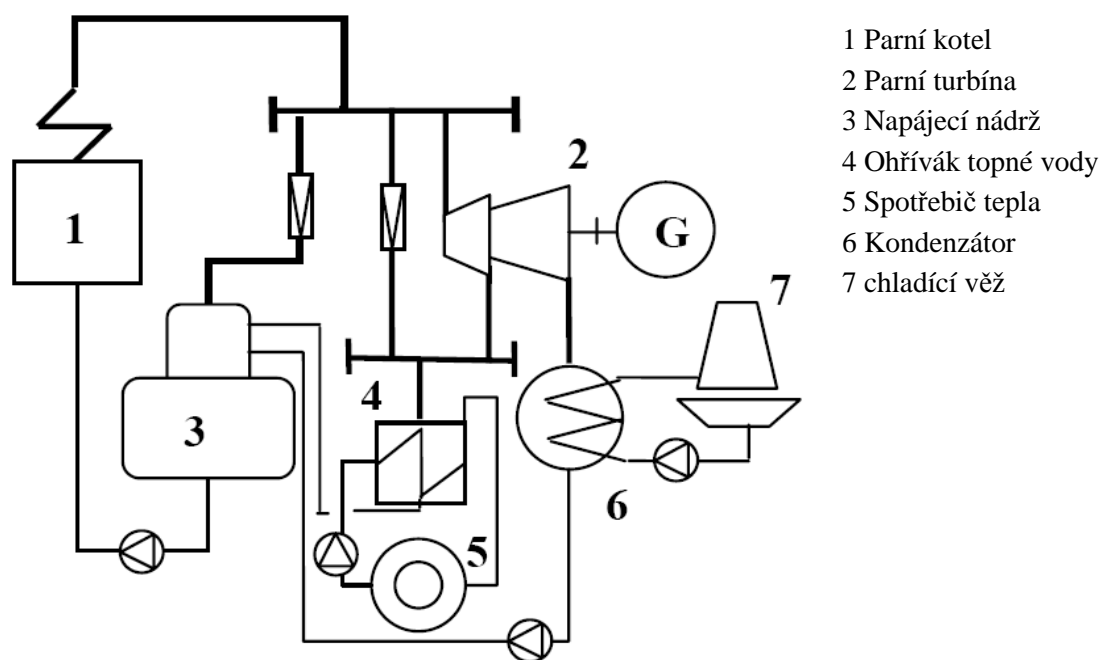
Parní turbíny se jako motory pro průmyslová kogenerační zařízení používají již dlouhá léta. Existují dva způsoby zapojení při použití turbíny jako motoru kogeneračního systému:

- parní turbína protitlaková (obr. 10);
- parní turbína kondenzační s odběrem páry pro dodávku tepla spotřebiteli (obr. 11).

Nejjednodušším uspořádáním je provedení s protitlakovou turbínou, u které veškerá pára po průchodu turbínou má relativně nízký tlak a slouží k dalšímu teplárenskému využití. Tam kde se vyžaduje dvoustupňový ohřev topné vody se druhý stupeň ohřevu provádí buď pomocí odběru z turbíny nebo někdy parou odebíranou přímo z výstupu kotle a redukovanou na požadovaný tlak.



Obr.10 Parní turbína protitlaková [3]



Obr.11 Parní turbína kondenzační s odběrem páry pro dodávku tepla spotřebiteli [3]

Parní turbíny v kogeneračních tepelných zdrojích

Parní turbíny používající se v teplárenských aplikacích můžeme podle velikosti výkonu rozdělit do dvou skupin:

- parní turbíny středního a velkého jednotkového výkonu;
- parní turbíny malého výkonu.

Parní turbíny o středním a velkém výkonu (elektrický výkon nad 25 MW), kondenzační odběrové i protitlakové turbíny byly v minulosti používány ve velkých zdrojích tepelných soustav centralizovaného zásobování městských aglomerací. Největší kogenerační uspořádání s parními turbínami byly používány v okolí velkých měst bývalého SSSR, kde u těchto jednotek dosahoval jednotkový výkon až 300 MWe. V ČR se využívalo použití i nekvalitních, ale na druhou stranu levných a lehce dostupných fosilních paliv. Jedním z těchto paliv bylo hnědé energetické uhlí.

Do podoby kogeneračních zařízení se u nás postupem času rekonstruovala část kondenzačních elektráren, aby došlo ke zvýšení jejich ekonomické efektivity. Došlo zde ke značnému omezení dodávky elektřiny spotřebitelům, ale naopak se začalo do bližšího nebo i vzdálenějšího okolí dodávat teplo ve formě páry nebo horké vody. Tímto způsobem se v minulosti rekonstruovaly např. elektrárny Hodonín, Opatovice a Mělník. Z těchto zdrojů je teplo dopravováno ke spotřebitelům pomocí dálkových horkovodů. Příkladem je například horkovod Mělník Praha nebo také dodávka tepla z elektrárny Opatovice do Hradce Králové a Pardubic. U většiny zbylých kondenzačních elektráren je dodávka tepla realizována ve formě horké vody, která je ohřívána ve výměňkových stanicích pomocí páry z neregulovaných odběrů turbín. I když je velikost tepelného výkonu vzhledem k elektrickému výkonu malá, jedná se o dodávku tepla o výkonech (tepelných) až několik set megawatt.

Výhody a nevýhody parních turbín v kogeneraci

Výhody:

- použít lze libovolné palivo;
- teplo může být dodáváno v libovolné formě (horká voda, pára VT i NT);
- může být pokryt více než jeden požadavek na parametry dodávaného tepla;
- velký rozsah jednotkových výkonů;
- možnost dodávky turbíny s výkonem a parametry dle potřeb investora;
- vysoká celková účinnost kogeneračního zdroje;
- velká životnost.

Nevýhody:

- malý poměr elektrického a tepelného výkonu;
- pomalé najíždění a změna výkonu;
- kogenerační zařízení s parní turbínou je poměrně složité s řadou pomocných provozů;
- poměrně velké požadavky na zastavěnou plochu a obestavěný objem celého kogeneračního zařízení;
- poměrně velké investiční náklady;
- obtížnější realizace úplné automatizace provozu zdroje.

Parní motory v kogeneračních tepelných zdrojích

Parní motor je parní stroj skládající se z bloku motoru, válců, pístů a šoupátkového rozvodu. Parní motor pohání elektrický generátor. Parní stroj s generátorem jsou umístěny na společném rámu, který je využit i pro další příslušenství motoru. Parní motor musí být navržen tak, aby nedocházelo ke znečišťování páry mazacím olejem.

Oproti parním turbínám má parní motor takovou výhodu, že může zpracovávat menší množství páry při větším tlakovém spádu. Další výhodou je, že pro provoz parního motoru postačuje sytá pára.

Toto zařízení proto skýtá možnost využití i u malých technologických procesů. Moderní parní stroje mají v dnešní době bezobslužný provoz.

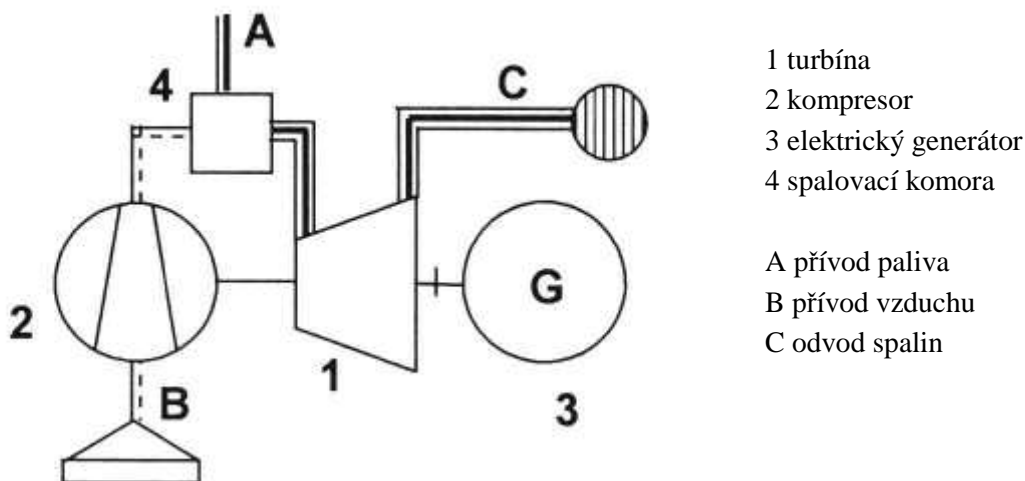
Soustrojí parního motoru a generátoru je možné vybavit tak, aby byl možný ostrovní provoz. V tomto případě je soustrojí vhodné i jako náhradní zdroj elektrické energie.

Základní zapojení parního motoru ve spojení s generátorem elektrické energie může být v malých teplárnách stejné jako u parní turbíny. Parní motor se také uplatňuje při modernizaci výtopenských zařízení ve funkci točivé redukce.

Nejznámějším výrobcem parních motorů je v dnešní době německá firma Spilling, která sídlí v Hamburgu. Jeden ze strojů této firmy je také instalován v ČR. Vývojem parních motorů pro stacionární použití v tepelných zdrojích se v ČR zabývá firma Polycomp sídlící v Poděbradech. Firma Polycomp do dnešní doby vyvinula zatím tři výkonové řady parních motorů: do 22 kW, do 45 kW a do 75 kW. Na vývoji ve směru většího jednotkového výkonu firma nadále pracuje.

3.2.2 Kogenerace se spalovacími turbínami [9]

Spalovací turbína s jednoduchým otevřeným oběhem se skládá z kompresoru, spalovací komory, plynové turbíny, elektrického generátoru a pomocných zařízení. Schéma turbíny a zapojení jejích komponentů je viditelné na obr. 12. Kompresor nasává vzduch z atmosféry a poté jej stlačuje na požadovaný tlak. Stlačený vzduch je dále veden do spalovací komory, kde se v jeho proudu při stálém tlaku spaluje palivo. Tím vznikají spaliny o vysokém tlaku a teplotě, které poté expandují v plynové turbíně. Po průchodu turbínou, v té době už mají nízkou teplotu, jsou odváděny do atmosféry. Plynová turbína přímo pohání kompresor. Přebytek výkonu je použit pro pohon elektrického generátoru.



Obr.12 Schéma uspořádání spalovací turbíny [9]

Kogenerační způsoby zapojení spalovacích turbín

Spalovací turbíny jsou v současnosti nejrozšířenějšími pohonnými motory v nově budovaných kogeneračních zařízeních o výkonu v rozsahu 5 až 100 MW. Spalovací turbíny se oproti parním zařízením s vysokotlakovými kotli a turbínami lépe instalují a uvádějí do provozu.

Další výhodou je, že vyžadují podstatně menší zastavěnou plochu, mají menší hmotnost a menší investiční náklady.

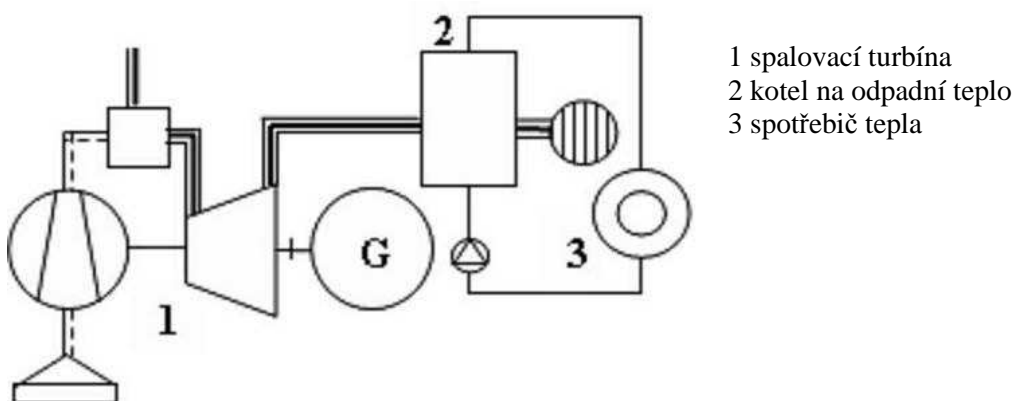
Teplota spalin na výstupu z turbíny je cca 450 až 550 °C, toto dává předpoklady pro dodávku i vysokopotenciálního tepla (horká voda i pára). Spalování ve spalovací komoře probíhá za poměrně velkého přebytku vzduchu. Spaliny tak obsahují dostatek kyslíku, který umožňuje přívod dalšího paliva. Toto tzv. přídavné spalování (přítápění) dovoluje zvýšit teplotu spalin na hodnoty i vyšší než 1000 °C. Tímto se však snižuje poměr elektrického a tepelného výkonu, takže takový provoz je přijatelný pouze pro pokrývání špiček potřeby tepla. Pokud je dodávka tepla požadována i když není spalovací turbína v provozu, musí se kotel vybavit vzduchovými ventilátory a zvláštními hořáky. Na druhou stranu je někdy výhodné, aby spalovací turbína mohla být provozována ve špičkách potřeby elektrické energie bez dodávky tepla. Pro tento účel bývá na výstupu spalin za spalovací turbínou nainstalován zvláštní komín, umožňující obtok spalinového kotle.

Spaliny na výstupu ze spalovací turbíny mohou být využívány pro účely:

- Přímé spalování a sušení. Spaliny o vysoké teplotě je možno využít v procesech umožňujících přímý kontakt se spalinami. Pro přenos tepla nejsou nutná další media (pára, voda atd.), která by zmenšovala teplotní rozdíly a tedy i účinnost přenosu tepla.
- Produkce středotlaké a nízkotlaké páry (obvykle 0,9 až 1,8 MPa) k vytápění a pro technologické účely.
- Výroba teplé nebo horké vody.
- Výroba vysokotlakové páry pro technologické účely nebo pro pohon parní turbíny.

Příklad kogeneračního zapojení spalovací turbíny je patrný na obr.13.

Kotle na odpadní teplo mohou být teplovodní, horkovodní nebo parní.



Obr.13 Princip kogeneračního zapojení spalovací turbíny [9]

Výhody a nevýhody spalovacích turbín v kogeneraci

Výhody:

- vysoká spolehlivost dovolující dlouhý provoz bez nutnosti provozních odstávek;
- dostupnost vysokopotenciálního tepla, dovolujícího dodávku tepla ve všech požadovaných formách;
- rychlé najíždění a změna výkonu;
- možnost každodenního odstavování;
- při daném výkonu malá hmotnost a rozměry;

- malá spotřeba vody;
- nízké měrné investiční náklady;
- kompaktnost provedení a malé požadavky na zastavěnou plochu a obestavěný prostor;
- krátká doba výstavby zařízení;
- dobrá možnost automatizace provozu vedoucí až k bezobslužnému provozu;
- malé požadavky na chladicí nebo přídavnou vodu.

Nevýhody:

- vyžaduje relativně kvalitní a čisté palivo (nejlépe zemní plyn nebo lehká kapalná paliva);
- v případě spalování plynu je požadován jeho vysoký tlak nebo výstavba zvláštní plynové kompresorové stanice;
- vysoká hluková hladina, zejména zvuku o vysokém kmitočtu;
- horší účinnost při nízkých zatíženích a vyšších teplotách okolí;
- nižší účinnost ve srovnání se spalovacími motory;
- při malých jednotkových výkonech nižší účinnost a větší měrné investiční náklady.

3.2.3 Kogenerace se spalovacími motory [10]

Spalovací motory, které se užívají v kogeneraci, jsou pístové motory s vnitřním spalováním, odvozené od klasických mobilních spalovacích motorů (vozidlových, trakčních a lodních).

Spalovací motory se dělí do dvou skupin podle způsobu zapálení směsi vzduchu a paliva na:

- vznětové motory;
- zážehové motory.

U vznětových motorů (diesellových nebo naftových) dochází k zapalování paliva ve válci samovznícením při vstřiku do horkého stlačeného vzduchu. Účinnost diesellových motorů na hřídeli se pohybuje v rozpětí 35% až 45% a jejich jednotkový výkon může dosahovat až 25 MW.

Moderní vznětové motory mají vysoký kompresní poměr. Používají zpožděné zapalování a hoření, aby tak dosáhly snížení emisí NO_x, přičemž zůstává zachován vysoký výkon a účinnost.

Tyto požadavky vynucují dokonalejší provedení vstřiku paliva a řídicího systému motoru.

U zážehových motorů se zapalují směsi paliv a vzduchu elektrickou jiskrou. Tyto motory mají spojkovou účinnost nižší než je účinnost vznětových motorů a to mezi 27% a 43%, menší je i výkonové rozpětí. Moderní zážehové motory s výkony nad 3 MW používají předkomůrku.

V této předkomůrce má směs stechiometrické složení. Motory s takovou předkomůrkou mají účinnost srovnatelnou s motory vznětovými, a to je 43%.

Kogenerační jednotky se spalovacími motory

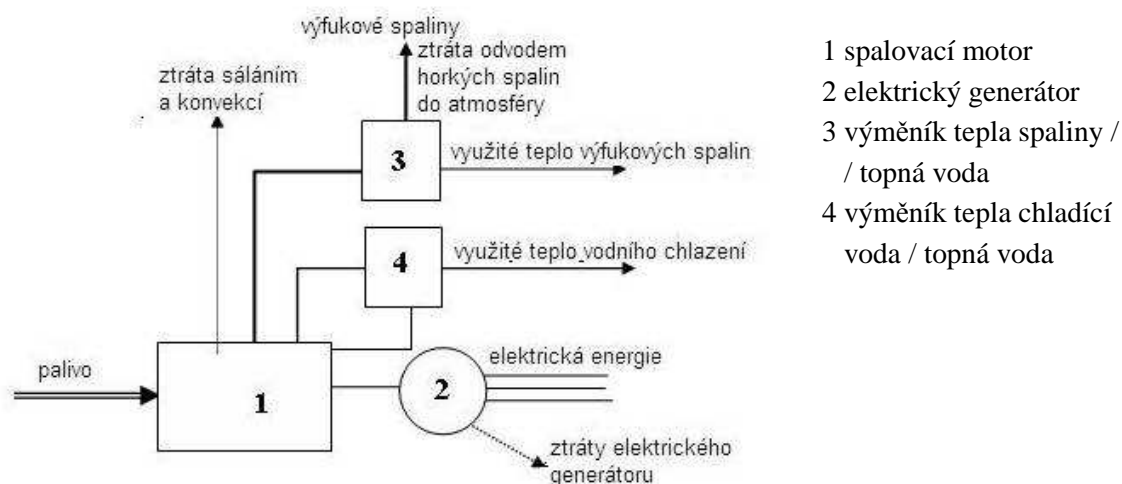
Spalovací motor je tepelný stroj vhodný k teplotnímu využití. Motor, který pohání elektrický generátor, produkuje současně odpadní teplo. Jedná se o teplo chlazení motoru (blok válců a hlava motoru), chlazení mazacího oleje a o teplo výfukových plynů. Chlazení oleje se provádí pomocí vodního chladicího okruhu, ze kterého je teplo odváděno topnou vodou. Ohřev této vody může být proveden maximálně na teplotu kolem 80 °C. Využívá-li se ve zvláštním výměníku chladicí teplo bloku motoru a hlav válců, může výstupní teplota topné vody dosahovat i 100 až 110 °C, jestliže je primární okruh proveden jako tlakový. Vzhledem k tlakovým poměrům v primárním chladicím okruhu motoru je ovšem výhodnější, je-li požadováno ohřátí topné vody jen na 90 až 100 °C.

Ve výměníku, který využívá tepla výfukových plynů, jejichž teplota je nejčastěji v rozmezí

400 až 540 °C, je možné ohřát tlakovou vodu na teploty vyšší než 110 °C (omezení je dáno tlakem v okruhu ohřívání vody) nebo vyrábět v něm páru. Princip uspořádání kogenerační jednotky se spalovacím motorem a toky energií jsou nakresleny na obr.14.

Jako tepelný zdroj mohou být spalovací plynové motory využity pro:

- ohřev sekundární otopné vody s nejobvyklejšími teplotami topné a vratné vody, tj. 90/70 °C;
- ohřev primární vody na teploty 110 až 130 °C;
- práci v moderních primárních tepelných sítích s nízkými teplotami topné vody a kvantitativní regulací;
- výrobu páry o nižším tlaku;
- předehřev napájecí vody parních kotlů a současně pro ohřev oksličovacého média hořáků těchto kotlů;
- kombinaci přímého sušení výfukovými spaliny a ohřev topné vody teplem chlazení motoru;
- chladicí zařízení;
- výrobu páry vyššího tlaku spojenou se zařazením protitlakové parní turbíny (paroplynové zapojení).



Obr. 14 Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem v základním zapojení [10]

4. STANOVENÍ VHODNÉ TECHNOLOGIE PALIVOVÉHO ČLÁNKU PRO ÚČELY DODÁVKY ELEKTRINY A TEPLA U DANÉHO OBJEKTU

Základní údaje rodinného domu:

Novostavba rodinného domu – jednopodlažní budova 3+1

Čeladná, parc. č. 1126/8, k.ú. Čeladná 619116

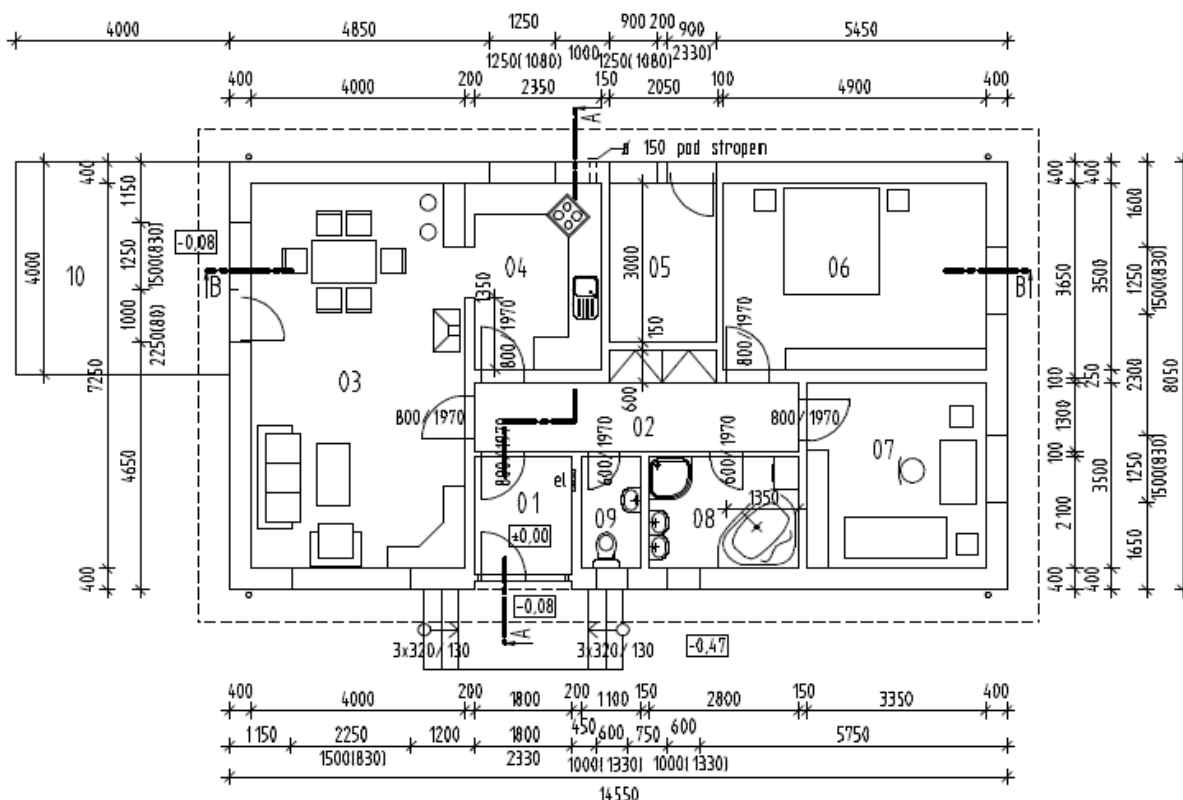
Zastavěná plocha RD : 117,13 m²

Potřeba vody : 4 x 46m³, předpoklad 184 m³/rok

Instalovaný el. příkon : max. 15 kW

Soudobý el. příkon : max. 10 kW

Obr. 15 Půdorys rodinného domu: - další parametry a pohledy na obr.16 v přílohách



Tab. 3 Legenda místností:

| Č.M. | NÁZEV MÍSTNOSTI | m2 | PODLAHA | ÚPRAVA POVRCHŮ | POZNÁMKA |
|------|--------------------|-------|------------------|----------------|-------------|
| 01 | předsrň | 4,01 | ker. dlažba | ker. soklřk | |
| 02 | chodba | 9,07 | ker. dlažba | ker. soklřk | |
| 03 | obývací pokoj | 29,00 | ker. dlažba | ker. soklřk | |
| 04 | kuchyně | 8,23 | ker. dlažba | ker. soklřk | ker. obklad |
| 05 | technická místnost | 6,00 | ker. dlažba | ker. soklřk | |
| 06 | ložnice 1 | 17,40 | laminát. podlaha | laminát. lišta | |
| 07 | ložnice 2 | 11,73 | laminát. podlaha | laminát. lišta | |
| 08 | koupelna | 5,88 | ker. dlažba | ker. obklad | v. 2050 mm |
| 09 | wc | 2,31 | ker. dlažba | ker. obklad | v. 2050 mm |
| 10 | terasa | 16,00 | beton. dlažba | | obrubník |

Venkovní ochlazované stěny „OS“

| | | |
|----------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------|
| - vnější vápennocementová omítka | 20 mm | $\lambda_p = 0,99 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - vnitřní vápenná omítka | 20 mm | $\lambda_p = 0,88 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - pórobeton SOLBET | 360 mm | $\lambda_p = 0,12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |

Podlaha „PDL1“ (místnosti 01,02,03,04,05,08,09)

| | | |
|------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------|
| - podlahová dlažba keramická | 7 mm | $\lambda_p = 1,10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - malta cementová | 30 mm | $\lambda_p = 1,16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - hydroizolace Foalbit | 4 mm | $\lambda_p = 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - podkladní beton hutný | 100 mm | $\lambda_p = 1,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - hutněný násyp (štěrk) | 200 mm | $\lambda_p = 0,93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |

Podlaha „PDL2“ (místnosti 06,07)

| | | |
|-------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------|
| - laminátová podlaha | 9,5 mm | $\lambda_p = 0,37 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - malta cementová | 30 mm | $\lambda_p = 1,16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - hydroizolace Foalbit | 4 mm | $\lambda_p = 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - podkladní beton hutný | 100 mm | $\lambda_p = 1,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - hutněný násyp (štěrk) | 200 mm | $\lambda_p = 0,93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |

Střecha „SCH“

| | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| - bonský šindel | 3,3 mm | $\lambda_p = 0,21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - bednění - střešní desky | 20 mm | $\lambda_p = 0,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - tepelná izolace Isover- Isophen | 200mm | $\lambda_p = 0,038 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - zavěšený sádkartonový podhled | 10 mm | $\lambda_p = 0,22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |

Okna a dveře

- plastová okna a dveře od firmy LENIN PLASTOVÁ OKNA
 - součinitel přestupu tepla u oken je $k = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, u dveří $k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Jejich rozměry zakresleny v půdorysu rodinného domu.

4.1 Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla k vypočteme podle vztahu:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

k - součinitel prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

α_i - součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

α_e - součinitel přestupu tepla na venkovní straně stěny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

l_i - tloušťka vrstvy [m]

λ_i - součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Součinitele přestupu tepla na vnitřní a venkovní straně podle normy ČSN 73 0540-3:

$\alpha_e = 23 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ pro vnější prostředí

$\alpha_i = 8 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ pro vnitřní prostředí

Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,99} + \frac{0,360}{0,12} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{1}{23}} = 0,31 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tab.4 vypočtených součinitelů přestupu tepla:

| Označení | Součinitel prostupu tepla k [W/m ² ·K] |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| OS | 0,31 |
| PDL1 | 2,11 |
| PDL2 | 2,02 |
| SCH | 0,18 |
| O1,O2,O3,O4,O5 | 1,3 |
| DV1,DV2,DV3,DV4,DV5 | 1,4 |

4.2 Výpočet základní tepelné ztráty

$$Q_0 = \sum k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e)$$

Q_0 se rovná součtu tepelných toků prostupem tepla jednotlivými stěnami, včetně oken a dveří, jež tvoří hranici mezi vnitřním a venkovním prostředím nebo sousedními místnostmi. Při výpočtu musíme brát v potaz součinitel přestupu tepla na vnitřní a venkovní straně. V rodinném domě jsou vytápěny všechny místnosti, proto prostup tepla do sousedních místností nebudeme uvažovat.

k_j - součinitel prostupu tepla pro danou konstrukci [W·m⁻²·K⁻¹]

S_j - plocha dané ochlazované konstrukce [m²]

t_i - výpočtová vnitřní teplota [°C]

t_e - výpočtová teplota prostředí na vnější straně stěny [°C]

t_{gr} – teplota zeminy

Jakmile dosáhne hodnota vnitřní výpočtové teploty větší hodnoty než je hodnota výpočtové teploty prostředí na vnější straně konstrukce, dochází k tomu, že tepelný tok má zápornou hodnotu a jedná se o tepelný zisk. Tepelný zisk zmenšuje základní tepelnou ztrátu místnosti prostupem tepla.

Příklad výpočtu základní tepelné ztráty místnosti 01 (předsín):

Uspořádání jednotlivých konstrukčních prvků místnosti 01 a její základní rozměry jsou uvedeny v obr. 15 půdorysu rodinného domu. Při prostupu tepla stěnami je třeba zohledňovat otvory pro okna a venkovní dveře.

K výpočtu tepelné ztráty prostupem tepla skrz konstrukční prvky musíme znát vnitřní výpočtovou teplotu a teplotu prostředí na vnější straně konstrukce. Podle ČSN 06 0210 jsou tyto teploty:

$$t_e = -15^\circ \text{C}$$

$$t_i = 20^\circ \text{C}$$

$$t_{gr} = 10^\circ \text{C}$$

Dosazením do vztahu $Q_0 = \sum k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e)$, dostaneme hodnotu základní tepelné ztráty místnosti 01(předsín):

$$Q_0 = \sum k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) = 1,4 \cdot 1,8 \cdot 2,33 \cdot 35 + 2,11 \cdot 4,01 \cdot (20 - 10) = 290,12W$$

Takovýmto způsobem provedu výpočet všech ostatních místností.

4.3. Výpočet tepelné ztráty místností prostupem tepla Q_p

$$k_c = \frac{\sum Q_0}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} \quad p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad Q_p = Q_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3)$$

$\sum Q_0$ - součet základních tepelných ztrát prostupem tepla skrz konstrukce [W]

$\sum S$ - celková plocha všech konstrukcí ohraničující vytápěnou místnost [m²]

t_i - výpočtová vnitřní teplota [°C]

t_e - výpočtová teplota prostředí na vnější straně konstrukce [°C]

Přirážka p_1 na vyrovnání vlivu chladných stavebních konstrukcí.

Přirážka p_2 na urychlení zátoku. ($p_2 = 0,1$ při denní době vytápění delší nebo rovné 16h)

Přirážka p_3 na světovou stranu.

| Světová strana | J | JZ | Z | SZ | S | SV | V | JV |
|----------------|-------|----|---|------|-----|------|------|----|
| Přirážka p_3 | -0,05 | 0 | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0 |

Po dosazení do vzorců nám vyjde tepelná ztráta místnosti 01 prostupem tepla:

$$k_c = \frac{\sum Q_0}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} = \frac{205,506}{4,194 \cdot (20 - (-15))} = 1,4W / m^2 \cdot K$$

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c = 0,15 \cdot 1,4 = 0,21$$

$$Q_p = Q_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 290,12 \cdot (1 + 0,21 + 0,1 - 0,05) = 365,55W$$

4.4 Výpočet tepelné ztráty větráním

Podle vztahu $Q_v = c_v \cdot V_v \cdot (t_i - t_e)$

kde

c_v - objemová tepelná kapacita vzduchu při teplotě 0 °C, $c_v = 1300 J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$

V_v - objemový tok větracího vzduchu [m³/s]

- za V_v se dosazují hodnoty V_{vH} nebo V_{vP}

t_i - vypočtená vnitřní teplota [°C]

t_e - vypočtená teplota prostředí [°C]

Objemový tok větracího vzduchu místnosti V_v musí vycházet z hygienických nebo technologických požadavků, které jsou dány potřebnou intenzitou výměny vzduchu n_h . V řešené budově se jedná ve všech místnostech o přirozené větrání infiltrací.

Objemový tok větracího vzduchu V_{vp} se stanoví ze vztahu: $V_{vp} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M$

kde

$\sum (i_{LV} \cdot L)$ - součet průvzdušnosti oken a dveří místnosti [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$]

i_{LV} - součinitel spárové průvzdušnosti [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$]

L - délka spár otvíraných částí oken a dveří [m]

B - Charakteristické číslo budovy [$\text{Pa}^{0,67}$]

M - Charakteristické číslo místnosti [1]

Při výpočtu tepelných ztrát větráním volím následující hodnoty dle ČSN 06 0210:

$B = 8 \text{ Pa}^{0,67}$ (budovu v normální krajině, nechráněná, osaměle stojící)

$M = 0,7$

Rozměry a hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti oken jsou dány výrobcem.

Hodnota spárové průvzdušnosti pro použitá okna je: $i_{LV} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$

Dosažením do vzorce $Q_v = c_v \cdot V_v \cdot (t_i - t_e)$ vypočteme tepelné ztráty větráním

$$V_{vp} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot (0,8 \cdot 4 + 3 \cdot 2,23) \cdot 8 \cdot 0,7 = 0,0027692$$

$$Q_v = c_v \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) = 1300 \cdot 0,0027692 \cdot (20 - (-15)) = 125,999 \text{ W}$$

4.5 Výpočet celkové tepelné ztráty budovy Q_c

$$Q_c = Q_p + Q_v + Q_z$$

Tepelné zisky Q_z se u této budovy neuvažují, vztah se zjednodušuje na

$$Q_c = Q_p + Q_v = 365,55 + 125,99 = 491,54 \text{ W}$$

Tab.5 Celkové tepelné ztráty jednotlivých místností

| Číslo místnosti | Tepelná ztráta prostupem tepla Q_p [W] | Tepelná ztráta větráním Q_v [W] | Celková tepelná ztráta Q_c [W] | Zaokrouhlená celková ztráta Q_p [W] |
|-----------------|------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 01 | 365,55 | 125,99 | 491,54 | 500 |
| 02 | 191,377 | 0 | 191,377 | 200 |
| 03 | 1849,54 | 266,266 | 2115,806 | 2120 |
| 04 | 377,16 | 73,255 | 450,415 | 460 |
| 05 | 406,875 | 19,59 | 426,465 | 430 |
| 06 | 820,54 | 82,81 | 903,35 | 910 |
| 07 | 598,47 | 82,81 | 681,28 | 690 |
| 08 | 247,517 | 35,672 | 283,189 | 290 |
| 09 | 113,154 | 35,672 | 148,826 | 150 |
| Celkem | 4970,183 | 722,065 | 5692,248 | 5750 |

4.6 Výpočet potřeby tepla na vytápění a ohřev užitkové vody [4]

Tento výpočet jsem prováděl pomocí programu na internetových stránkách www.tzb-info.cz
 Program je dostupný z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=38&obor=5>

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Lokalita (Tabulka) | | <input type="radio"/> $t_{em} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ <input checked="" type="radio"/> $t_{em} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ <input type="radio"/> $t_{em} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$??? | |
| Město | Frýdek-Místek | Délka topného období | d = 236 [dny] |
| Venkovní výpočtová teplota $t_e =$ | -15 $^{\circ}\text{C}$ | Prům. teplota během otopného období $t_{es} =$ | 3.8 $^{\circ}\text{C}$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> Vytápění | | <input checked="" type="checkbox"/> Ohřev teplé vody | |
| Tepelná ztráta objektu $Q_c =$ | 5,75 kW | $t_1 =$ | 10 $^{\circ}\text{C}$??? $\rho =$ 1000 kg/m^3 ??? |
| Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} =$ | 20 $^{\circ}\text{C}$??? | $t_2 =$ | 55 $^{\circ}\text{C}$??? $c =$ 4186 J/kgK ??? |
| Vytápěcí denostupně $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) =$ | 3823 K.dny | $V_{2p} =$ | 0.2 m^3/den ??? |
| Opravné součinitele a účinnosti systému $e_i =$ 0.85 ??? $\eta_o =$ 0.95 ??? $e_t =$ 0.90 ??? $\eta_r =$ 0.95 ??? $e_d =$ 1.00 ??? | | Koefficient energetických ztrát systému $z =$ | 0.2 ??? |
| Opravný součinitel ε ??? <input checked="" type="radio"/> $\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.765$ <input type="radio"/> $\varepsilon =$ 0.765 | | Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} =$ | 12.6 kWh |
| $Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} =$ | 46 GJ/rok 12.8 MWh/rok | Teplota studené vody v létě $t_{svl} =$ | 15 $^{\circ}\text{C}$ |
| | Náklady | Teplota studené vody v zimě $t_{svz} =$ | 5 $^{\circ}\text{C}$ |
| | | Počet pracovních dní soustavy v roce $N =$ | 365 [dny] |
| | | $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} =$ | 14.4 GJ/rok 4 MWh/rok |
| | | Náklady | |
| Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody | | | |
| $Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} =$ | | | |
| 60.4 GJ/rok 16.8 MWh/rok | | | |
| Náklady | | | |

Podle vypočtených celkových hodnot stanovím v dalším bodě vhodnou technologii palivového článku.

4.7 Stanovení vhodné technologie palivového článku [5]

Jako nejvhodnější se podle mě jeví kogenerační jednotka s vysokoteplotními palivovými články typu SOFC. Je to kogenerační jednotka od firmy CERAMIC FUEL CELLS LIMITED s názvem BlueGen™. Tuto jednotku jsem zvolil, protože pro tento dům má asi nejvhodnější jak elektrické tak i tepelné parametry.

Palivovým médiem této kogenerační jednotky je zemní plyn, tzn. že odpadají problémy například s uskladněním vodíkových nádob a jednotka může být bez problému napojena na rozvod zemního plynu, který je v obci zřízen.

Další výhodou tohoto modulu je možnost napojení externí nádrže na teplou vodu, proto je jej možné využít jako zdroj teplé užitkové vody.

Nevýhodou tohoto modulu je dlouhá startovací doba (20 hod) . Další nevýhodou je, že k tomuto modulu není přidán přídatný hořák na zemní plyn, a proto je třeba do otopné soustavy přidat jiný zdroj tepla, který pokryje potřebu teplé vody.



Obr. 17 Jednotka s palivovými články BlueGen™

1.Modul s palivovými články, 2.Integrované zásobníky na vodu, 3.Integrované čištění plynu, 4.Úprava výstupního elektrického proudu

Tab. 6 Parametry palivového článku firmy Ceramic fuel cells limited s názvem BlueGen™

| | |
|---------------------------------------|------------|
| Elektrický výkon palivového článku | 2 kW max |
| Tepelný výkon palivového článku | 1 kW max |
| Elektrická účinnost palivového článku | 60% |
| Celková účinnost palivového článku | kolem 80% |
| Palivo | Zemní plyn |
| Parametry elektrického výstupu | 230V, 50Hz |
| Rozměry | 66x60x97 |
| Celková hmotnost | 200kg |

Závěr

V bakalářské práci jsem popsal palivové články co se týče jejich konstrukce, principu funkce a jejich možné použití v kogeneračních aplikacích na výrobu elektrické a tepelné energie pro rodinné domy nebo průmyslové prostory. Palivové články v současné době nemají ještě tak rozsáhlé využití v kogeneračních aplikacích jako například parní turbíny, parní motory, spalovací turbíny a spalovací motory v kogeneraci. Je to dáno hlavně pořizovacími cenami kogeneračních jednotek, které se pohybují ve statisících až milionech. Jakmile ale v budoucnu dojde ke snížení nákladů na výrobu těchto jednotek, prodloužení životnosti jednotlivých dílů, tím i snížení pořizovacích nákladů jednotky, skýtají palivové články v kogeneračních aplikacích, nejen díky své velké účinnosti přeměny chemické energie na energii elektrickou a tepelnou, ale také díky snížené spotřebě paliva, tím i menším provozním nákladům a nakonec i minimálním produkcím emisních plynů, rozsáhlé využití.

V dnešní době je již na světě malé množství firem, které se zabývají výrobou palivových článků pro využití v kogeneračních jednotkách a počet těchto firem neustále narůstá.

Výhodou kogeneračních jednotek s palivovými články oproti stávajícím konvenčním způsobům výroby elektrické energie je jejich vysoká účinnost, tím i snížená spotřeba paliva a tomu odpovídající snížené provozní náklady. Další výhodou těchto jednotek je minimální produkce škodlivých emisních plynů, která je přínosem pro životní prostředí.

V současné době jsou již v některých domech a průmyslových objektech nainstalovány kogenerační jednotky, u kterých je palivovým médiem nejčastěji zemní plyn. Ty zásobují objekt jak elektrickou energií, tak energií pro vytápění a ohřev TUV. Mohou to být jednotky v řádech desítek i stovek kilowatt.

Existují i takové kogenerační jednotky s palivovými články, u kterých je jako palivo použit vodík. I přesto, že tyto jednotky neprodukují žádné škodlivé emise a odpadní látkou je voda, nejsou v současnosti ještě tak rozsáhlé. Problémem je totiž skladování vodíku. Musí se klást velké nároky na kvalitu vodíkových láhví. Aby vodík neunikal netěsnostmi, musí být tlakové nádoby vyrobeny ze speciálních druhů ocelí.

V bakalářské práci jsem se také věnoval stanovení vhodné technologie palivového článku pro kogenerační výrobu elektrické a tepelné energie u novostavby jednopodlažního rodinného domu. Instalovaný elektrický příkon rodinného domu je 15kW. Dále bylo třeba spočítat celkové tepelné ztráty budovy, které mi vyšly 5,75 kW. Z této hodnoty jsem dále pomocí programu na portálu www.tzb-info.cz spočítal celkovou potřebu tepla na vytápění a ohřev TUV. Roční potřeba tepla u daného rodinného domu mi vyšla 16,8 MWh/rok a denní potřeba pro ohřev teplé vody 12,6 kWh/den. Po spočtení těchto hodnot jsem navrhl kogenerační jednotku s palivovými články SOFC od firmy Ceramic fuel cells limited s názvem BlueGen™ o výkonech 2 kWe a 1 kWt.

Literatura

[1]

Dvorský E., Hejtmánková P. : Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, 1. vydání Praha: BEN, 2005, ISBN 80-7300-118-7, kapitola 1.2

Dvorský E., Hejtmánková P. : Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, 1. vydání Praha: BEN, 2005, ISBN 80-7300-118-7, kapitola 1.3

[2]

Krbek J., Polesný B. : Kogenerační jednotky - zřizování a provoz, 1. vydání Praha: GAS s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9, kapitola 10.1

[3]

Krbek J., Polesný B. : Kogenerační jednotky - zřizování a provoz, 1. vydání Praha: GAS s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9, kapitola 6

[4]

URL <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=38&obor=5>>

<<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=38&obor=5>>

Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=38&obor=5>

[cit. 2010-04-22]

[5]

URL <[http://www.cfcl.com.au/Assets/Files/BlueGen_Brochure\(ENG_GER\)_Mar-09.pdf](http://www.cfcl.com.au/Assets/Files/BlueGen_Brochure(ENG_GER)_Mar-09.pdf)>

<[http://www.cfcl.com.au/Assets/Files/BlueGen_Brochure\(ENG_GER\)_Mar-09.pdf](http://www.cfcl.com.au/Assets/Files/BlueGen_Brochure(ENG_GER)_Mar-09.pdf)>

Dostupné z: <http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>

[cit. 2010-04-24]

[6]

URL < http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek >

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek>

Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek

[cit. 2009-11-25]

[7]

URL < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kogenerace>>

< <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kogenerace>>

Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kogenerace>

[cit. 2009-11-27]

[8]

URL <<http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>>

<<http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>>

Dostupné z: <http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>

[cit. 2009-11-28]

[9]

Krbek J., Polesný B. : Kogenerační jednotky - zřizování a provoz, 1. vydání Praha: GAS s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9, kapitola 7

[10]

Krbek J., Polesný B. : Kogenerační jednotky - zřizování a provoz, 1. vydání Praha: GAS s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9, kapitola 8

Studijní podklady v elektronické formě:

[11]

Sokanský, K: Článek č.06 - Elektrochemické (palivové) články.doc, VŠB-TUO

[12]

Sokanský, K.: Palivové články v energetice, Ostrava, 2007